

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-016718

(43)Date of publication of application : 22.01.1999

(51)Int.Cl.

H01F 6/00  
A61B 5/055  
H01F 6/04

(21)Application number : 09-170232

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 26.06.1997

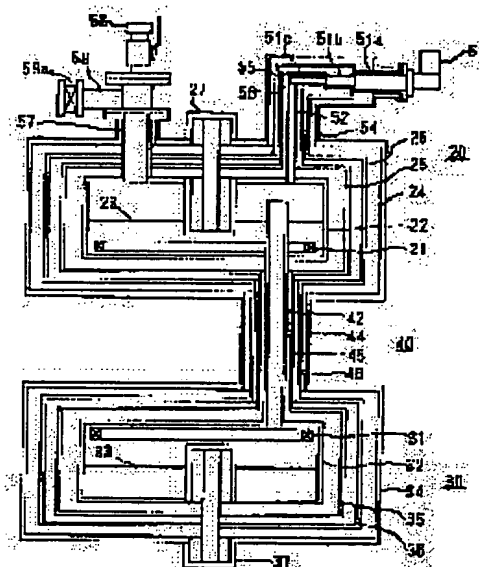
(72)Inventor : MATSUMOTO TAKAHIRO  
MORITSU KAZUKI

## (54) SUPERCONDUCTING MAGNET

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To make the periphery of a photographing space open by a method, wherein a superconducting magnet device is composed by arranging superconducting magnets on the upper part and lower part, so that the filling amount of liquid helium for cooling the superconducting coils are balanced between the upper and lower coils.

**SOLUTION:** The upper superconducting magnet 20 is composed of an upper cryogenic vessel 22, containing an upper superconducting coil 21 and filled with liquid helium, an upper vacuum vessel 24, an upper inner side heat-shield 25 and an upper outer side heat-shield 26 arranged between the upper inner heat-shield 25 and the upper vacuum vessel 24. Further, a lower superconducting magnet 30 is composed of a lower cryogenic vessel 32 containing a lower superconducting coil 31 and filled with liquid helium 33, a lower vacuum vessel 34, a lower inner heat-shield 35 and a lower outer heat-shield 36 arranged between the lower inner heat-shield 35 and the lower vacuum vessel 34. On the other hand, the upper superconducting magnet 20 and the lower superconducting magnet 30 are arranged symmetrically to be connected by connectors 40.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 08.11.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3537639

[Date of registration] 26.03.2004

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-16718

(43) 公開日 平成11年(1999) 1月22日

| (51) Int.Cl. <sup>6</sup> | 識別記号  | F I                  |
|---------------------------|-------|----------------------|
| H 0 1 F 6/00              | Z A A | H 0 1 F 7/22 Z A A F |
| A 6 1 B 5/055             |       | A 6 1 B 5/05 3 1 0   |
| H 0 1 F 6/04              | Z A A | H 0 1 F 7/22 Z A A G |

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平9-170232

(22) 出願日 平成9年(1997) 6月26日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 松本 隆博

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72) 発明者 森津 一樹

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

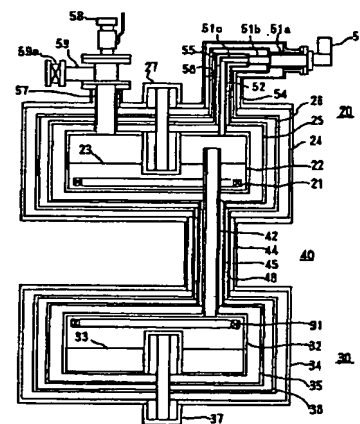
(74) 代理人 弁理士 宮田 金雄 (外2名)

(54) 【発明の名称】 超電導電磁石装置

(57) 【要約】

【課題】 医療用の核磁気共鳴装置に使用される超電導電磁石装置の断層写真撮影空間の周囲が開放的であり、分離された極低温容器の液体ヘリウムがそれぞれに適量が充填されるように超電導電磁石を構成する。

【解決手段】 超電導コイルを収容した極低温容器、この極低温容器、熱シールドを収容する真空容器からなる超電導電磁石の複数を上下方向に適正な間隔をおいて配置し、上部の超電導電磁石と下部の超電導電磁石の超電導コイルを収容する極低温容器、真空容器のそれぞれの内部相互間を連通して連結し、熱シールド相互間を熱的に連結し、極低温容器間の連結管の上端部は上部極低温容器の上方に、下端部は下部極低温容器の上方に配置し、上部および下部の極低温容器の内部に適量の液体ヘリウムが充填されるように構成した。



- |               |               |
|---------------|---------------|
| 20: 上部の超電導電磁石 | 21: 上部超電導コイル  |
| 22: 上部極低温容器   | 23: 液体ヘリウム    |
| 24: 上部真空容器    | 25: 上部内熱シールド  |
| 26: 上部外熱シールド  | 27: 上部支持部材    |
| 30: 下部の超電導電磁石 | 31: 下部超電導コイル  |
| 32: 下部極低温容器   | 33: 液体ヘリウム    |
| 34: 下部真空容器    | 35: 下部内熱シールド  |
| 36: 下部外熱シールド  | 37: 下部支持部材    |
| 40: 連結管       | 42: 極低温容器連結管  |
| 44: 真空容器連結管   | 45: 内熱シールド連結管 |
| 46: 外熱シールド連結管 | 51: 冷凍機       |
| 52: 熱伝導管      | 54: 真空容器連結管   |
| 55: 内熱シールド接続管 | 56: 外熱シールド接続管 |
| 57: サービスポート   | 58: 注入口       |
| 59: 排気管       | 59a: 排気バルブ    |

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 超電導コイルと、該超電導コイルを収容し、液体ヘリウムが充填された極低温容器と、該極低温容器を包囲して間隔をおいて配置された熱シールドと、極低温容器およびこれを包囲した熱シールドを収容し、内部が真空に保持された真空容器とで構成された複数の超電導電磁石が、上下方向に所定の間隔をおいて配置され、上部の超電導電磁石と下部の超電導電磁石の極低温容器相互間、および真空容器相互間はそれぞれの内部を連通する連結管で連結され、熱シールド相互間は熱的に連結され、上部の超電導電磁石の極低温容器の上方に液体ヘリウムの注液口と、気化したヘリウムガスを排出する排気管とを付属し、超電導コイルを励磁する電流リードを挿通したサービスポートを備えたことを特徴とする超電導電磁石装置。

【請求項2】 上部の超電導電磁石および下部の超電導電磁石の熱シールドおよび熱シールド相互間の連結部材は熱の良導体で形成されていることを特徴とする請求項1記載の超電導電磁石装置。

【請求項3】 上部の超電導電磁石に冷凍機を装着し、冷凍機の極低温を発生する冷却ステージ部は極低温容器内に連通した空間に配置し、中間の冷却ステージは熱シールドに熱的に接続されていることを特徴とする請求項1または請求項2記載の超電導電磁石装置。

【請求項4】 上部の超電導電磁石および下部の超電導電磁石の極低温容器相互間を連通する連結管は、上端部を上部の超電導電磁石の極低温容器内部の適正液面位置に開口するように配置したことを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の超電導電磁石装置。

【請求項5】 上部の超電導電磁石および下部の超電導電磁石の極低温容器相互間を連通する連結管は、上端部を上部の超電導電磁石の極低温容器内部の適正液面位置に開口するように配置し、下端部は下部の超電導電磁石の極低温容器内部の極低温容器の液体ヘリウムの適正液面位置に開口するように配置したことを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれかに記載の超電導電磁石装置。

【請求項6】 上部の超電導電磁石および下部の超電導電磁石の極低温容器相互間を連通する連結管は、上端部を上部の超電導電磁石の極低温容器内部の上方に開口するように配置し、下端部は下部の超電導電磁石の極低温容器内部の下方に開口するように配置し、該連結管の内径部を挿通し、上部および下部の超電導電磁石の上部ガス空間に開口するガス抜き管を設け、このガス抜き管の上端部にガス抜きバルブが取り付けられ、このガス抜きバルブの位置を上記連結管の上端部に配置したことを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれかに記載の超電導電磁石装置。

【請求項7】 上部の超電導電磁石の極低温容器、および下部の超電導電磁石の極低温容器それぞれに冷却媒体

の液面を検出する液面計を設け、ガス抜き管の上端に設けたガス抜きバルブおよび排気管に設けられた排気バルブを開閉して、上部の超電導電磁石および下部の超電導電磁石の極低温容器内の極低温冷媒の液面が適正位置になるように制御する制御装置を設けたことを特徴とする請求項6記載の超電導電磁石装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、医療用の核磁気共鳴診断装置に使用される超電導電磁石装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来の核磁気共鳴装置の超電導電磁石装置の実用されているものとして、超電導コイルを水平方向に配置し、水平状態の撮影空間に水平方向磁場を与える構成の図5に示すものがある。図5において、1は超電導導体を円筒状に巻回した超電導コイル、2は円筒状の超電導コイル1を収容し、液体ヘリウム3を充填して極低温に冷却する極低温容器、4は極低温容器2を包囲し内部を真空に保持する真空容器、5、6は極低温容器2を包囲し、真空容器4との間に配置された内側の熱シールドおよび外側の熱シールド、7は真空容器4の上部壁に取り付けられ、真空容器4の内部を冷却する冷凍機であり、内側の熱シールド5を20K前後、外側の熱シールド6を70K前後に冷却して外部からの熱の侵入を防いでいる。8は液体ヘリウムの注液口、蒸発したヘリウムガスの排気する排気管を付属し、超電導コイルを励磁する電流リードを挿通したサービスポートである。9は真空容器4の外周を包囲するように配置された強磁性体で形成された磁気シールド、10は検査対象の被検者、11は被検者10の断層像を撮像するための傾斜磁場を与える傾斜磁場コイル、12は磁気共鳴させるための高周波電波を発信および受信するためのRFコイル、13は被検者を載置して中心部に挿入するベッド、14は冷凍機7に供給する高圧ガスを圧縮する圧縮機、15は高圧ガスを冷凍機に供給するホースである。

【0003】図5の従来の超電導電磁石装置の構成は水平方向に撮影空間が形成され、被検者10はベッド13に載置されて中心部に配置され、断層像を撮像する構成である。この構成においては、被検者10はベッド13上に載せられて超電導電磁石の中心部に挿入され、超電導電磁石装置の中心部において、断層像を撮るために水素原子に磁気共鳴を発生させるRFコイル12、特定の部分にある水素原子のみを共鳴させる傾斜磁場を発生させる傾斜磁場コイル11等が駆動され、磁気共鳴によって得られた水素原子の信号によって画像に構成される。

【0004】断層像撮影時の被検者10の状態は、閉鎖された超電導電磁石装置の中心部に入った状態であり、被検者10が閉所恐怖症の場合は検査中の苦痛に耐えられず、検査ができない場合があった。また、得られた画

像により手術する場合は、そのつど超電導電磁石から被検者10を引き出して行うことが必要である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記従来の医療診断用の超電導電磁石装置は、撮影空間が水平方向の円筒状であり、被検者は閉鎖された撮影空間に挿入されて行われるが、被検者が閉所恐怖症の場合は、検査中の苦痛に耐えられず、検査ができないという問題点があった。また撮影した画像を見ながら手術する場合は、そのつど被検者を超電導電磁石装置から引き出す必要があるという問題点もあった。

【0006】この発明は、上記問題点を解消するためになされたものであり、被検者に恐怖感を与えないように撮影空間が開放的であり、また画像を見ながらの手術が可能な構成として、超電導電磁石を上部と下部に配置して撮影空間が開放的な医療用の核磁気共鳴診断装置に使用される超電導電磁石装置を構成し、上部と下部に配置された超電導電磁石の超電導コイルを極低温に冷却する液体ヘリウムの充填量が、上部と下部でバランスがとれるように構成し、液体冷媒の補充のインターバルを長くした医療用の核磁気共鳴装置に使用される超電導電磁石装置を得ることを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】この発明の請求項1に係る超電導電磁石装置は、超電導コイルと、超電導コイルを収容し、液体ヘリウムが充填された極低温容器と、極低温容器を包囲して間隔をおいて配置した熱シールドと、極低温容器およびこれを包囲した熱シールドを収容し、内部が真空中に保持された真空容器とで構成された超電導電磁石の複数を、上下方向に所定の間隔をおいて配置し、上部の超電導電磁石と下部の超電導電磁石は、極低温容器相互間、および真空容器相互間はそれぞれの内部を連通して連結し、熱シールド相互間は熱的に連結し、上部の超電導電磁石の上方に液体ヘリウムの注液口と、気化したヘリウムガスを排出する排出管とを備え、超電導コイルを励磁する電流リードを挿通したサービスポートを備えたものである。

【0008】この発明の請求項2に係る超電導電磁石装置は、請求項1の構成の上部の超電導電磁石と下部の超電導電磁石の熱シールドの相互間を熱的に連結する連結部材を熱の良導体で形成したものである。

【0009】この発明の請求項3に係る超電導電磁石装置は、請求項1または請求項2の上部の超電導電磁石に冷凍機を装着し、冷凍機の極低温を発生する冷却ステージは極低温容器内に連通した空間に配置し、中間の冷却ステージは熱シールドに熱的に接続した構成としたものである。

【0010】この発明の請求項4に係る超電導電磁石装置は、請求項1乃至請求項3のいずれかの構成の上部の超電導電磁石および下部の超電導電磁石の極低温容器相

互間を連通する連結管を、上端部が上部の超電導電磁石装置の極低温容器内部の適正液面位置に開口するように配置したものである。

【0011】この発明の請求項5に係る超電導電磁石装置は、請求項1乃至請求項4のいずれかの構成の上部の超電導電磁石および下部の超電導電磁石の極低温容器相互間を連通する連結管は、上端部を上部の超電導電磁石の極低温容器内部の適正液面位置に開口するように配置し、下端部は下部の超電導電磁石の極低温容器内部の液体ヘリウムの適正液面位置に開口するように配置したものである。

【0012】この発明の請求項6に係る超電導電磁石装置は、請求項1乃至請求項4のいずれかの構成の上部の超電導電磁石および下部の超電導電磁石の極低温容器相互間を連通する連結管は、上端部を上部の超電導電磁石の極低温容器内部の上方に開口するように配置し、下端部は下部の超電導電磁石の極低温容器内部の下方に開口するように配置し、この連結管の内径部を挿通し、上部および下部の超電導電磁石の上部ガス空間に開口するガス抜き管を設け、このガス抜き管の上端部にガス抜きバルブを取り付けられ、このガス抜きバルブの位置を連結管の上端部に配置したガス抜き管を設けたものである。

【0013】この発明の請求項7に係る超電導電磁石装置は、請求項5または請求項6の構成の上部の超電導電磁石の極低温容器、および下部の超電導電磁石の極低温容器それぞれに液体ヘリウムの液面を検出する液面計を設け、ガス抜き管の上端に設けたガス抜きバルブと排気管の排気バルブを開閉して上部超電導電磁石および下部の超電導電磁石の極低温容器内の液体ヘリウムの液面が適量になるように制御する制御装置を設けたものである。

【0014】

【発明の実施の形態】

実施の形態1. 以下この発明の実施の形態について説明する。図1は実施の形態1の超電導電磁石装置の構成を示す断面図である。図において、21は上部超電導コイル、22は上部超電導コイル21が収容され、液体ヘリウム23が充填された上部極低温容器、24は上部極低温容器22を収容する上部真空容器、25は上部極低温容器22を包囲し上部真空容器24の外壁との間に配置された上部内側熱シールド、26は上部内側熱シールド25と上部真空容器24の間に配置された上部外側熱シールドである。27は上部極低温容器22と上部真空容器24とを連結し、重量、電磁力を支持する上部支持部材である。20は上部の超電導電磁石であり、21～27で構成されている。

【0015】上部の超電導電磁石20とは中間に対して各部材が対称に配置された構成である。31は下部超電導コイル、32は下部超電導コイル31が収容され、液体ヘリウム33が充填された下部極低温容器、34は下

5

部極低温容器32を収容する下部真空容器、35は下部極低温容器32を包囲し下部真空容器34の外壁との間に配置された下部内側熱シールド、26は下部内側熱シールド35と下部真空容器34の間に配置された下部外側熱シールドである。36は下部極低温容器32と下部真空容器34とを連結し、重量、電磁力を支持する下部支持部材である。30は下部の超電導電磁石であり、31～37で構成されている。上部の超電導電磁石20と下部の超電導電磁石は中間に対して対称に配置されている。

【0016】40は上部の超電導電磁石20と下部の超電導電磁石30を連結する連結部である。42は上部極低温容器22と下部極低温容器32の相互間を連通した状態で連結する極低温容器連結管であり、上端部は上部超電導電磁石20の液体ヘリウムの適正液面位置に設定している。44は上部真空容器24と下部真空容器34の相互間を連結する真空容器連結管、45は上部内側熱シールド25と下部内側熱シールド35の相互間を連結する内側熱シールド連結管、46は上部外側熱シールド26と下部外側熱シールド36の相互間を連結する外側熱シールド連結管であり、40は上部の超電導電磁石20と下部の超電導電磁石30を連結する連結部であり、連結部40は42、44～47で構成されている。

【0017】51は冷凍機で、冷却ステージが3段式のものであり、第1段冷却ステージ51aで70K前後、第2段冷却ステージ51bで20K前後、第3段冷却ステージ51cで10K以下の極低温が発生できるものである。52は上部極低温容器24と極低温冷凍機51の第3段冷却ステージ51c部分とを連通させる極低温連通管、54は上部真空容器24の上方の壁に取り付けられた冷凍機を取り付ける真空容器連通管、55は冷凍機51の第2段冷却ステージ51bと上部内側熱シールド24とを接続する内側熱シールド接続管、56は冷凍機51の第1段冷却ステージ51aと上部外側熱シールド26とを接続する外側熱シールド接続管、57は液体ヘリウムを注液する注液口58、気化したヘリウムガスを排気する排気管59、排気バルブ59aを付属し、超電導コイル21、31を励磁する電流リードを挿通させたサービスポートである。

【0018】このように上部の超電導電磁石20と下部の超電導電磁石30を上下に対向して配置したことにより、その中間部の解放された空間に強磁界を発生させることができ、従来の図5に示すように横方向に超電導コイルを配置し、中心部の撮影空間が閉鎖された構成のように、被検者10が閉所恐怖症の時に検査ができなくなるという問題点が解消され、また、撮影空間の周囲が解放されているので、被検者を引き出すことなく、撮影した画像を見ながらの手術も可能となる構成が得られる。

【0019】また、上部の超電導電磁石20と下部の超電導電磁石30は、所定の間隔をおいて連結部40で連

6

結されており、上部の超電導電磁石20と下部の超電導電磁石30の間に働く電磁力、上部の超電導電磁石20の重量が連結部40で支持され、上部の超電導電磁石20と下部の超電導電磁石30の相互間の支持は簡単な部材で支持することができる。

【0020】上部極低温容器22と下部極低温容器32の相互間を連通した極低温容器連結管42の上端部の位置は、上部極低温容器22内部の適正液面位置としたことにより、極低温冷却媒体の液体ヘリウムを注入したときに、上部の超電導電磁石20の極低温容器22の適正液面に注入され、その位置以降の注入は極低温容器連結管42の上端より内径部を通して下部の超電導電磁石30の極低温容器32内にも供給され、1個のサービスポート57で上部の超電導電磁石20および下部の超電導電磁石30の双方に適正量の液体ヘリウムを注入することができる。

【0021】装置が運転されて上部極低温容器22内および下部極低温容器32内の液体ヘリウムが外部からの熱の侵入により気化して圧力が上昇すると排気管59よりヘリウムガスを放出して圧力の上昇を防止するように運転される。上部極低温容器22および下部極低温容器32のそれぞれの内部の液体ヘリウムは上部、下部それぞれの極低温容器内に侵入する熱量に応じて液体ヘリウムが気化してそれぞれの超電導コイルが極低温に維持される。下部極低温容器32内で気化したヘリウムガスは極低温容器連結管42の内径部より上部極低温容器22内に移動し、排気管59より排気され、内部圧力が一定に維持される。

【0022】サービスポート57は上部極低温容器22に取り付けられており、このサービスポート57からの熱の侵入が最も大きく、サービスポート57が1個でよくなると、外部からの熱の侵入は少なくなり、液体ヘリウムの消費量が少なくなる。

【0023】冷凍機51の第1段冷却ステージ51aは、外側熱シールド接続管56を介して上部外側熱シールド26、外側熱シールド連結管46、下部外側熱シールド36にそれぞれ直列に接続され、第2段冷却ステージ51bは内側熱シールド接続管55を介して上部内側熱シールド25、内側熱シールド連結管45、下部内側熱シールド35にそれぞれ直列に接続されており、それぞれの熱シールド接続管55、56、熱シールド25、26、35、36、熱シールド連結管45、46を例えばアルミニウムのような熱の良導体で形成することにより、それぞれの熱シールドは冷凍機51の各冷却ステージの温度に保持され真空容器の内部が真空に保持されているので、外部からの熱の侵入が抑制できる。

【0024】また、冷凍機51の極低温を発生する第3段冷却ステージ51cは上部極低温容器22内に連通するように設けられた極低温連通管52内に挿入されており、運転中に気化したヘリウムガスが自然対流して、極

10

20

30

40

50

低温冷凍機の第3段冷却ステージ51cの部分で凝縮され、上部極低温容器24の内部に落下して冷却媒体の消費が抑制される。

【0025】実施の形態2. 実施の形態2は、実施の形態1の構成の極低温容器連結管の下端開口部の位置を下部の極低温容器の必要とする液面の位置まで下げて配置したものである。図2にその構成を示す。図2の構成は図1の構成の極低温容器連結管42の下端開口部の位置が異なるのみで、その他の構成は図1と全く同一である。

【0026】図2に示す極低温容器連結管62の下端開口部の位置を下部極低温容器32の必要とする液面位置に配置すると、液体ヘリウムは上部極低温容器22および下部極低温容器32の内部にはほぼ充填するように充填され、運転中に液体ヘリウムが気化して消耗すると下部極低温容器32の内部上方にガス空間ができ、上部極低温容器22の上部にもガス空間ができ、上部極低温容器32の気化したヘリウムガスが排気管より排気されるのに対して、下部極低温容器内の液体ヘリウムの気化につれて下部の極低温容器の上方にガス空間ができるが、極低温容器連結管62の下部開口部の位置が下部極低温容器32の適正液面位置に配置されているので、上部極低温容器22のガスが排気されても、下部極低温容器32内の上部のガス空間のガスは抜けないで、空間の容積が大きくなり、下部極低温容器32内のガス空間の容積が大きくなるにしたがって下部極低温容器32の内部の液体ヘリウムが上部極低温容器22内に押し上げられて移動し、上部極低温容器22、下部極低温容器32のそれぞれの内部の液体ヘリウムの量は必要とする液面位置が最低位置になるまで確保され、液体ヘリウムの補給の

インターバルを長くすることができる。

【0027】実施の形態3. 実施の形態3は、実施の形態2の構成の上部の超電導電磁石20と下部の超電導電磁石30のそれぞれの液体ヘリウムの液面位置を調整できるようにしたものである。その構成を図3に示す。図3において、21~27、31~37、44~46、51、52、54~59は図1と同一部分を示すものであり説明は省略する。72は上端部が上部の超電導電磁石20の極低温容器22内の上方の適正液面位置に開口し、下端部は下部の超電導電磁石30の極低温容器32

の下方まで延長した極低温容器連結管、73は極低温容器連結管72の内径部に挿通され、上端部にガス抜きバルブ73aが取り付けられ、下端部は下部の超電導電磁石30の極低温容器32の上方に開口するように配置されたガス抜き管である。ガス抜きバルブ73aは外部から開閉できるようになっている。

【0028】このように構成した場合、液体ヘリウムの

適正液面位置まで注入され、それ以上の注入は極低温容器連結管72の内径部より下部の超電導電磁石30の極低温容器32内に注入され、下部の超電導電磁石30の適正液面になると注入を終了する。上部の超電導電磁石20および下部の超電導電磁石30の液体ヘリウムの液面が適正液面の状態で運転されると、装置の構成は上部の超電導電磁石20にサービサポート57、極低温冷凍機51等が取り付けられており、上部超電導電磁石20の方が下部の超電導電磁石30よりも外部からの熱の侵入量は多く、早く液体ヘリウムが減少し、そのまま長期間運転されると上部の超電導電磁石20の方が早くクエンチすることが想定される。

【0029】上部の超電導電磁石20と下部の超電導電磁石30の内部の液体ヘリウムの量が一方に偏ったときに、ガス抜きバルブ73aを閉じると、下部の超電導電磁石30の内部圧力が高くなり、極低温容器32内の液体ヘリウムが上部の超電導電磁石20上部極低温容器22内に移送することができる。移送する量は上部および下部の液体ヘリウムの液面がほぼ等しくなるようにするのが好ましい。このように、運転中に液体ヘリウムの液面を監視し、上部および下部の液体ヘリウム量の調整を行うと液体ヘリウムを補充するインターバルを長くすることができる。

【0030】実施の形態4. 実施の形態3では、ガス抜き管73とガス抜きバルブ73aの操作について説明したが、これらの操作を円滑に行う制御方法をこの実施の形態4に示す。図4にその構成を示す。図4構成は、実施の形態3の構成に上部極低温容器には上部液面計、および下部極低温容器には下部液面計を付加したものであり、その他の構成は実施の形態3の図3と同一である。図4は上部の超電導電磁石20および下部の超電導電磁石30は主要部のみを示した表現にしている。

【0031】図4において、84は上部の超電導電磁石の上部極低温容器22内部に設けた液面計、85は下部の超電導電磁石の下部極低温容器32内部に設けた液面計、86は液面計が検出した液体ヘリウムの液面により、バルブ73aを開閉して上部の超電導電磁石および下部の超電導電磁石の極低温容器内部の液体ヘリウムの液面がほぼ同一レベルになるように制御するものである。このように液面計により液体ヘリウムの液面位置を制御することにより、液体ヘリウムの補充のインターバルを長くことができ、長期間の連続運転ができる。

【0032】

【発明の効果】この発明の請求項1に係る超電導電磁石装置は、超電導コイルと、超電導コイルを収容し、液体ヘリウムが充填された極低温容器と、極低温容器を間隔において包囲した熱シールドと、極低温容器およびこれを包囲した熱シールドを収容し、内部が真空に保持された真空容器とで構成された超電導電磁石の複数を、上下方向に所定の間隔をおいて配置し、上部の超電導電磁石

と下部の超電導電磁石は、極低温容器相互間、および真空容器相互間はそれぞれの内部を連通して連結し、熱シールド相互間は熱的に連結し、上部の超電導電磁石の上方に液体ヘリウムの注液口と、気化したヘリウムガスを排出する排出管とを備え、超電導コイルを励磁する電流リードを挿通したサービスポートを備えたものとしたので、閉所恐怖症の被検者の時に検査ができなくなるという問題点が解消され、また、撮影空間の周囲が解放されているので、被検者を引き出すことなく、撮影した画像を見ながらの手術も可能となる構成が得られる。また、上部の超電導電磁石と下部の超電導電磁石は、所定の間隔をおいて連結部で連結されており、超電導電磁石相互間に働く電磁力、および超電導電磁石の重量が連結部で支持され、上部の超電導電磁石と下部の超電導電磁石の相互間の支持は簡単な部材で支持することができる。上部極低温容器と下部極低温容器の相互間を連通した極低温容器連結管の上端部の位置は、上部極低温容器内部の上方の適正液面の位置としたことにより、極低温冷却媒体の液体ヘリウムを注入したときに、上部の超電導電磁石の上部極低温容器の適正液面に注入され、その位置以降の注入は極低温容器連結管の上端より内径部を通過して下部の超電導電磁石の極低温容器内に供給され、1個のサービスポートで上部の超電導電磁石および下部の超電導電磁石の双方に適正量の液体ヘリウムを注入することができる。サービスポートが1個とすると、外部からの熱の侵入は少なくなり、液体ヘリウムの消費量が少なくなる効果も得られる。

【0033】この発明の請求項2に係る超電導電磁石装置は、請求項1の構成の上部の超電導電磁石と下部の超電導電磁石の熱シールドの相互間を熱的に連結する連結部材は熱の良導体で形成したので、上部および下部のそれぞれの熱シールドは内側、外側それぞれ同一の温度に保持され、真空容器の内部が真空中に保持されていることで、外部からの熱の侵入が抑制できる。

【0034】この発明の請求項3に係る超電導電磁石装置は、請求項1または請求項2の上部の超電導電磁石に冷凍機を装着し、冷凍機の極低温を発生する冷却ステージ部は極低温容器内に連通した空間に配置し、中間の冷却ステージは熱シールドに熱的に接続した構成としたので、上部、および下部の内側、外側の熱シールドは冷凍機の冷却ステージの温度に維持され、外部からの熱の侵入が抑制される。また、冷凍機の極低温を発生する第3段冷却ステージが上部極低温容器内に連通するように設けられた極低温連通管内に挿入され、運転中に気化したヘリウムガスが凝縮されるようになっているので、液体ヘリウムの消費量が抑制される。

【0035】この発明の請求項4に係る超電導電磁石装置は、請求項1乃至請求項3のいずれかの構成の上部の超電導電磁石および下部の超電導電磁石の極低温容器相互間を連通する連結管を、上端部が上部の超電導電磁石

装置の上部極低温容器内部の上方の適正液面の位置としたことにより、液体ヘリウムを注入したときに、上部の超電導電磁石として極低温容器の適正液面に注入された後に極低温容器連結管の上端より内径部を通過して下部の超電導電磁石の極低温容器内にも供給され、1個のサービスポートで上部極低温容器および下部極低温容器の双方に適正量の液体ヘリウムを注入され、液体ヘリウムが少量注入されたときにも上部極低温容器に液体ヘリウムが確保される。

10 【0036】この発明の請求項5に係る超電導電磁石装置は、請求項1乃至請求項4のいずれかの構成の上部の超電導電磁石および下部の超電導電磁石の極低温容器相互間を連通する連結管は、上端部を上部の超電導電磁石の極低温容器内部の上方に開口するように配置し、下端部は下部の超電導電磁石の極低温容器内部の液体ヘリウムが必要な適正液面位置に開口するように配置したので、上部極低温容器の気化したガスが排気されると、下部極低温容器内の上部のガス空間の容積が大きくなり、下部極低温容器の液体ヘリウムが上部極低温容器内に押し上げられ、上部極低温容器、下部極低温容器のそれぞれの液体ヘリウムの量は必要とする液面位置が最低位置になるまで確保され、液体ヘリウムの補給のインターバルを長くすることができる。

20 【0037】この発明の請求項6に係る超電導電磁石装置は、請求項1乃至請求項4のいずれかの構成の上部の超電導電磁石および下部の超電導電磁石の極低温容器相互間を連通する連結管は、上端部を上部極低温容器内部の上方に開口するように配置し、下端部は下部極低温容器内部の下方に開口するように配置し、この連結管の内径部を挿通し、上部および下部の超電導電磁石の上部ガス空間に開口するガス抜き管を設け、このガス抜き管の上端部にガス抜きバルブを取り付け、このガス抜きバルブの位置を連結管の上端部に配置したガス抜き管を設けたので、上部極低温容器と下部極低温容器の内部の液体ヘリウムの量がアンバランスになったときに、ガス抜きバルブを閉じて下部極低温容器内の液体ヘリウムを上部極低温容器内に移送し、上部極低温容器と下部極低温容器の液体ヘリウムの液面がほぼ等しくすることができる。このように、運転中に液体ヘリウムの量を監視し、上部および下部の液体ヘリウム量の調整を行うことで液体ヘリウムを補充するインターバルを長くすることができる。

40 【0038】この発明の請求項7に係る超電導電磁石装置は、請求項6の構成の上部の超電導電磁石の極低温容器、および下部の超電導電磁石の極低温容器それぞれに液体ヘリウムの液面を検出する液面計を設け、ガス抜き管の上端に設けたガス抜きバルブを開閉して上部超電導電磁石および下部の超電導電磁石装置の極低温容器内の液体ヘリウムの液面が適量になるように制御する制御装置を設けたので、液体ヘリウムの液面位置を細かく制御



11

することにより、液体ヘリウムの補充のインターバルを長くすることができ、長期間の連続運転ができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1の超電導磁石装置の構成を示す断面図である。

【図2】 この発明の実施の形態2の超電導磁石装置の構成を示す断面図である。

【図3】 この発明の実施の形態3の超電導磁石装置の構成を示す断面図である。

【図4】 この発明の実施の形態4の超電導磁石装置の構成を示す断面図である。

【図5】 従来の超電導磁石の構成を示す断面図である。

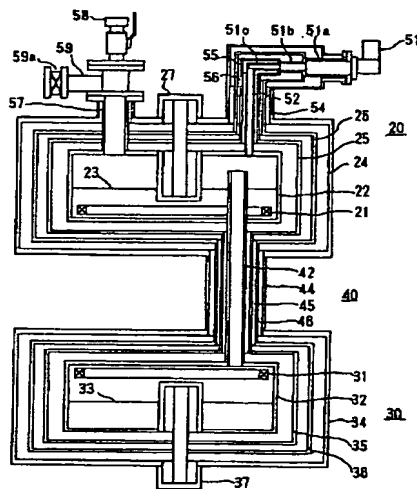
【符号の説明】

20 上部の超電導磁石、21 上部超電導コイル、  
22 上部極低温容器、23 液体ヘリウム、24 上\*

12

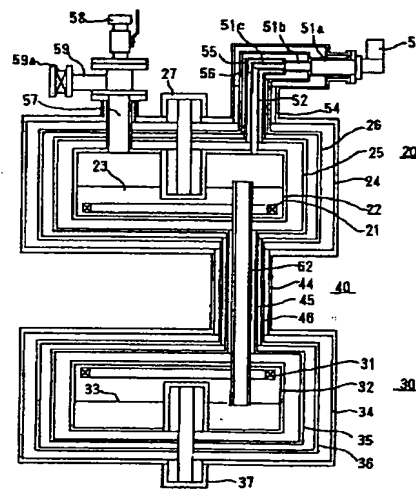
\*部真空容器、25 上部内側熱シールド、26 上部外側熱シールド、27 上部支持部材、30 下部の超電導磁石、31 下部超電導コイル、32 下部極低温容器、33 液体ヘリウム、34 下部真空容器、35 下部内側熱シールド、36 下部外側熱シールド、37 下部支持部材、40 連結部、42 極低温容器連結管、44 真空容器連結管、45 内側熱シールド連結管、46 外側熱シールド連結管、51 冷凍機、52 極低温容器連通管、54 真空容器連通管、55 内側熱シールド接続管、56 外側熱シールド接続管、57 サービスポート、58 注液口、59 排気管、59a 排気バルブ、62 極低温容器連結管、72 極低温容器連結管、73 ガス抜き管、73a ガス抜きバルブ、84 上部液面計、85 下部液面計、86 液量制御装置。

【図1】



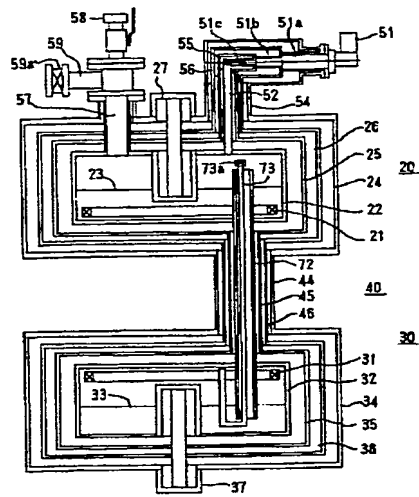
- |                |                |
|----------------|----------------|
| 20: 上部の超電導磁石   | 21: 上部超電導コイル   |
| 22: 上部極低温容器    | 23: 液体ヘリウム     |
| 24: 上部真空容器     | 25: 上部内側熱シールド  |
| 26: 上部外側熱シールド  | 27: 上部支持部材     |
| 30: 下部の超電導磁石   | 31: 下部超電導コイル   |
| 32: 下部極低温容器    | 33: 液体ヘリウム     |
| 34: 下部真空容器     | 35: 下部内側熱シールド  |
| 36: 下部外側熱シールド  | 37: 下部支持部材     |
| 40: 連結部        | 42: 極低温容器連結管   |
| 44: 真空容器連結管    | 45: 内側熱シールド連結管 |
| 46: 外側熱シールド連結管 | 51: 冷凍機        |
| 52: 極低温容器連通管   | 54: 真空容器連通管    |
| 55: 内側熱シールド接続管 | 56: 外側熱シールド接続管 |
| 57: サービスポート    | 58: 注液口        |
| 59: 排気管        | 59a: 排気バルブ     |

【図2】



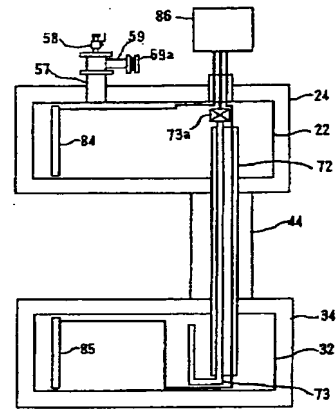
62: 極低温容器連結管

【図3】



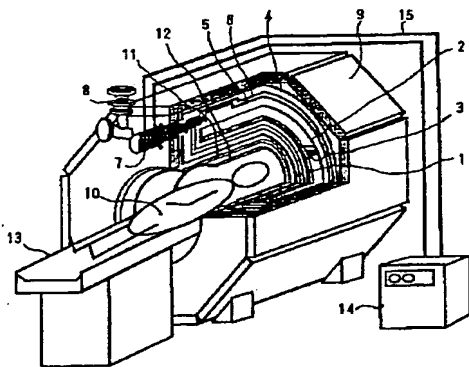
72: 極低温容器連結管 73: ガス抜き管  
73a: ガス抜きバルブ

【図4】



84: 上部液面計 85: 下部液面計  
86: 液量制御装置

【図5】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**